9 月 September
2019，62(9)：1109 -1116
昆　虫　学　报
ACTA ENTOMOLOGICA SINICA
http：//www. insect. org. cn
doi：10. 16380/j. kcxb. 2019. 09. 012

云南省玉龙鼠疫疫源地野外鼠形动物寄生蚤丰盛度影响因素分析

王梦迪[1]，周　芸[1]，徐丹丹[1]，洪汝丹[1]，刘正祥[2]，洪　梅[2]，
魏兆飞[1]，赵秋芳[1]，尹家祥[1,*]

（1. 大理大学公共卫生学院，大理大学预防医学研究所，云南大理 671000；
2. 云南省地方病防治所医学动物昆虫防制科，云南大理 671000）

摘要：【目的】分析云南省玉龙鼠疫疫源地野外鼠形动物寄生蚤丰盛度的影响因素。【方法】选取云南省玉龙鼠疫疫源地 3 个海拔区域，按 4 个季节进行野外捕鼠，捕获的鼠形动物用梳检法收集体表寄生蚤并在显微镜下分类鉴定。通过实际测量和实地观察相结合的方式收集潜在影响鼠形动物寄生蚤丰盛度的因素包括鼠形动物特征变量指标（如种类、年龄、性别、体长、体重）、环境和气象因子（如海拔、季节）等数据。采用 EpiData 3.02 软件建立数据库，在 R 软件下使用跨栏负二项分布回归分析鼠形动物寄生蚤丰盛度的影响因素。【结果】从捕获的 884 只鼠形动物中检获寄生蚤 9 种 484 头，以特新蚤指名亚种、方叶栉眼蚤、无值大锥蚤、云南栉眼蚤为主（86.16%）。回归分析显示：2 700 -3 000 m 和 3 000 m 以上海拔鼠形动物染蚤概率较 2 400 -2 700 m 分别增加 1.27 和 3.72 倍；湿度高于 70% 时，鼠形动物染蚤概率较湿度≤70% 时减少 41%；与齐氏姬鼠的染蚤概率相比，中华姬鼠的染蚤概率降低 50%，大绒鼠的染蚤概率增加 79%；体长超过 104 mm 的鼠形动物染蚤概率较体长≤104 mm 的鼠形动物染蚤概率增加 76%；气温高于 15℃ 时，鼠形动物染蚤数量较温度≤15℃ 时降低 67%；成年鼠形动物的染蚤数量较未成年鼠形动物的染蚤数量增加 2.25 倍；与春季相比，夏季的染蚤数量增加 2.00 倍，秋季的染蚤概率减少 48%，冬季的染蚤概率和染蚤数量分别增加 1.44 和 1.06 倍。【结论】玉龙鼠疫疫源地野外鼠形动物寄生蚤以特新蚤指名亚种、方叶栉眼蚤、无值大锥蚤、云南栉眼蚤为优势蚤种。鼠形动物寄生蚤丰盛度与海拔、季节、气温、湿度等环境气象因子及鼠形动物种类、体长、年龄等鼠形动物特征变量密切相关。

关键词：鼠疫疫源地；鼠形动物；寄生蚤；丰盛度；宿主种类；身体特征；环境因子；气象因子
中图分类号：Q968　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**0454-6296(2019)09-1109-08

Analysis of factors affecting the abundance of parasitic fleas on wild myomorph rodents in the Yulong plague focus of Yunnan Province, southwestern China

WANG Meng-Di[1], ZHOU Yun[1], XU Dan-Dan[1], HONG Ru-Dan[1], LIU Zheng-Xiang[2], HONG Mei[2], WEI Zhao-Fei[1], ZHAO Qiu-Fang[1], YIN Jia-Xiang[1,*] (1. Institute of Preventive Medicine, School of Public Health, Dali University, Dali, Yunnan 671000, China; 2. Department for Medical Animal and Insect Control, Yunnan Institute for Endemic Diseases Control and Prevention, Dali, Yunnan 671000, China)

Abstract:【Aim】To analyze the predictors of the abundance of parasitic fleas on wild myomorph rodents

基金项目：国家自然科学基金项目（81460485，81860565）；大理大学自然疫源性疾病流行病学创新团队（ZKPY2019201）
作者简介：王梦迪，女，1991 年 8 月生，山西运城人，硕士研究生，研究方向为自然疫源性疾病流行病学，E-mail：534627623@qq.com
* 通讯作者 Corresponding author，E-mail：chinayjx@hotmail.com
收稿日期 Received：2019-01-09；接受日期 Accepted：2019-06-27

in the Yulong plague focus of Yunnan Province, southwestern China. 【Methods】Field rodent trapping was carried out in three altitudes and four seasons of plague foci in Yulong County, Yunnan Province. The parasitic fleas on myomorph rodents were collected by comb method and identified under a microscope. Data of potential predictors of the abundance of parasitic fleas, including characters of myomorph rodents (such as species, age, gender, body length, and weight) and environmental factors (such as altitude and season), were collected through measurement and observation. Data set was established using EpiData 3.0.2. The relationship between the abundance of parasitic fleas and the potential predictors was explored using hurdle negative binomial regression model under R software. 【Results】A total of 484 parasitic fleas belonging to nine species were collected from 884 myomorph rodents. Among them, *Neopsylla specialis specialis*, *Ctenophthalmus quadrates*, *Macrostylophora euteles* and *Ctenophthalmus yunnanus* fleas are dominant, with their individual number accounting for 86.16% of the total number of individuals of fleas. Regression analysis revealed that the probability of flea infestation at 2 700 – 3 000 m and above 3 000 m increased by 1.27 and 3.72 times as compared with that at 2 400 – 2 700 m, respectively. The probability of flea infestation under the humidity over 70% decreased by 41% as compared with that under the humidity not exceeding 70%. The probability of flea infestation on *Apodemus draco* reduced by 50% as compared with that on *Apodemus chevrieri*, while the probability of flea infestation on *Eothenomys miletus* increased by 79%. The probability of flea infestation on myomorph rodents with the body length exceeding 104 mm increased by 76% as compared with that on myomorph rodents with the body length less than or equal to 104 mm. When air temperature exceeded 15℃, the number of fleas on myomorph rodents decreased by 67% as compared with that at the air temperature not exceeding 15℃. The number of fleas on adult myomorph rodents increased by 2.25 times as compared with that of immature myomorph rodents. The number of fleas in summer increased by 2.00 times, the probability of flea infestation in autumn decreased by 48%, and the probability of flea infestation and the number of fleas in winter increased by 1.44 and 1.06 times, respectively, as compared with those in spring. 【Conclusion】*Neopsylla specialis specialis*, *Ctenophthalmus quadrates*, *Macrostylophora euteles* and *Ctenophthalmus yunnanus* are the dominant species of parasitic fleas on wild myomorph rodents in the Yulong plague focus. The abundance of parasitic fleas is closely related to the environmental factors such as altitude, season, air temperature and humidity, and the characters of myomorph rodents such as species, body length, and age.

Key words: Plague focus; myomorph rodents; parasitic fleas; abundance; host species; body characters; environmental factors; meteorological factors

云南省玉龙鼠疫自然疫源地自 2006 年证实以来,鼠间鼠疫发生几乎从未间断。伴随着旅游业发展,该疾病面临着远距离传播的风险。蚤类既是鼠疫菌的储存宿主,又是传播媒介。研究表明蚤类的丰富度、密度与鼠疫传播能力呈正相关(Krasnov *et al.*, 2006; Friggens, 2010),染蚤率、蚤指数的高低与鼠间鼠疫流行强度、波及人类机会密切相关(赵智敏和郑建中, 2011),可见蚤类在鼠疫流行传播中承担了重要角色。蚤类成虫主要以啮齿类鼠形动物为宿主营寄生生活,宿主动物不仅为蚤类提供了食物来源,也提供了蚤类孳生所需的适宜生长环境。研究表明寄生蚤的密度随宿主动物密度增加而上升(孙濡泳, 2001)。同时,蚤类的发育繁殖也受所处自然环境、气候条件的影响,不同蚤类随季节变化的繁殖高峰不一(杨创明, 2013; 高子厚等, 2014)。尹家祥团队对滇西家鼠疫源地鼠形动物及其寄生蚤丰盛度进行了预测,对预防当地鼠传、蚤传疾病的发生具有指导意义(王秀芳等, 2015; 程晓藕, 2016)。本论文从野外鼠形动物身体特征、环境、气象等因子分析对蚤类丰盛度的作用,建立预测玉龙鼠疫疫源地野外鼠形动物寄生蚤丰盛度的流行病学模型,为鼠疫等蚤传疾病的预防控制工作提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　时间和地点

2015 年 12 月至 2016 年 10 月,选取玉龙鼠疫疫源地(99°48′37″ – 100°16′39″E, 26°42′47″ – 26°56′13″N) 3 个海拔区域(约 150 km^2),即 2 400 – 2 700, 2 700 – 3 000 和 3 000 m 以上,每个区域选择 2 ~ 3 个样点并在 2015 年 12 月, 以及 2016 年 3, 7 和 10 月各月分别连续 10 d 进行野外捕鼠,调查期间使用手持型 GPS 接收仪测量每个研究样点的海拔及经纬度;现场调查确定生境类型;利用数字式温湿度仪(HTC-1) 测定和记录调查当日 8:00, 12:00 和 18:00时 3 个时间点的气温及相对湿度,计算平均值供分析使用。

1.2　鼠形动物的收集及鼠形动物特征指标的测量

采用布夹法捕鼠,每个研究样点布夹数不少于 200 个,晚放晨收,将捕获的鼠形动物装袋后带回实验室,并收集所有捕获鼠形动物的特征变量。依据《中国啮齿类》(黄文几等, 1995),完成对鼠形动物种类鉴定,年龄、性别的鉴别,以及体长、体重、耳高、后足长、尾长的测量。

1.3　鼠形动物寄生蚤的收集

用梳检法收集鼠形动物体表寄生蚤,置于含 75% 乙醇的微量离心管内室温保存,依据《云南蚤类志》(解宝琦和曾静凡, 2000),在光学显微镜下进行蚤类分类鉴定和计数。

1.4　数据分析

应用 EpiData 3.02 软件建立数据库,导出为 Stata 格式数据,在 R 软件下使用 epicalc, pscl 和 lmtest 软件包进行统计分析。染蚤率和蚤指数的计算公式为:鼠体染蚤率 = (染蚤鼠数/检蚤鼠数) × 100% ;蚤指数 = 获蚤数/检蚤鼠数;各鼠种蚤指数 = 该鼠种获蚤数/该鼠种检蚤鼠数。应用跨栏负二项分布回归模型探索影响鼠形动物体表寄生蚤丰盛度的因素(尹家祥和董兴齐, 2010; 王骏等, 2014),因变量是鼠形动物体表寄生蚤数量即寄生蚤丰盛度,自变量是考察的潜在影响因素。用单因素分析探索每个潜在影响因素与鼠形动物体表寄生蚤丰盛度间的关系,将 P 值小于 0.15 的因素作为候选变量纳入最初多元回归模型,采用后退法筛选变量,似然比检验(likelihood ratio test, LR-test)比较两个模型的拟合程度,筛选变量的检验水准为 $\alpha = 0.10$。跨栏模型中 Logistic 回归部分,每一变量的系数求幂后得到的值为比值比(odds ratio, OR);负二项分布回归部分每一变量的系数求幂后得到的值为丰盛度比(abundance ratio, AR),同时计算 OR 和 AR 的 95% 置信区间(CI)。

2　结果

2.1　云南省玉龙鼠疫疫源地野外鼠形动物及其寄生蚤构成

本次调查共布放鼠夹 5 018 个,收回鼠夹 4 917 个,捕获野外鼠形动物 884 只,捕获率为 17.98%。鼠形动物隶属于 3 目 5 科 12 属 18 种,其中齐氏姬鼠 *Apodemus chevrieri*、中华姬鼠 *Apodemus draco*、大绒鼠 *Eothenomys miletus*、大耳姬鼠 *Apodemus latronum* 为优势鼠种,分别为 309 只(个体数占比 34.95%)、159 只(17.99%)、142 只(16.06%)和 104 只(11.76%)。染蚤鼠形动物有 219 只,染蚤率为 24.77% ,检出寄生蚤 484 头,隶属于 3 科 6 亚科 7 属 9 种,总蚤指数 0.55。其中,特新蚤指名亚种 *Neopsylla specialis specialis*、方叶栉眼蚤 *Ctenophthalmus quadratus*、无值大锥蚤 *Macrostylophora euteles*、云南栉眼蚤 *Ctenophthalmus yunnanus* 为优势蚤种,分别为 165 头(个体数占比 34.09%)、123 头(25.41%)、70 头(14.46%)和 59 头(12.19%)。

鼠形动物染蚤数量多集中于 1 ~ 4 头。齐氏姬鼠是染蚤种类数和染蚤数量最多的,70 只齐氏姬鼠染蚤 7 种 129 头,染蚤率 22.65% ,蚤指数 0.42,以特新蚤指名亚种为主(个体数占比 70.54%);其次是大绒鼠,17 只染蚤 6 种 122 头,染蚤率 39.44% ,蚤指数 0.86,以方叶栉眼蚤为主(55.74%);36 只玉龙绒鼠染蚤 4 种 90 头,染蚤率 62.07% ,蚤指数 1.55,以方叶栉眼蚤(47.78%)和云南栉眼蚤(45.56%)为主。

2.2　云南省玉龙鼠疫疫源地野外鼠形动物体表寄生蚤单因素跨栏负二项分布结果

经单因素跨栏负二项分布回归分析,11 个因素与鼠形动物能否染蚤有密切关系,6 个因素与染蚤数量密切相关(表 1)。大绒鼠和玉龙绒鼠较齐氏姬鼠染蚤概率增加,中华姬鼠较齐氏姬鼠染蚤概率降低;体重 > 30 g、体长 > 104 mm 的鼠形动物染蚤概率分别比体重≤30 g 和体长≤104 mm 的鼠形动物染蚤概率均增加;耳高 > 16 mm、尾长 > 80 mm 的鼠形动物染蚤概率分别比耳高≤16 mm、尾长≤80 mm 的鼠形动物染蚤概率均降低;相对湿度 > 70% 时鼠形

动物染蚤概率较相对湿度≤70%时降低；与2 400 – 2 700 m海拔下相比，2 700 – 3 000 m海拔染蚤数量降低，>3 000 m海拔染蚤概率增加而染蚤数量减少；与春季相比，秋季染蚤概率降低，冬季染蚤数量增加；成年鼠形动物的染蚤概率和染蚤数量均较未成年鼠形动物的增加；林耕交界处的染蚤概率和数量较林地的均增加；气温>15℃时的染蚤概率和数量较气温≤15℃时均降低。

表1 云南玉龙鼠疫疫源地野外鼠形动物寄生蚤丰盛度的单因素跨栏负二项分布回归分析结果

Table 1 Analysis results of hurdle negative binomial regression model of the relationship between the abundance of parasitic fleas on wild myomorph rodents and single affecting factor in Yulong, Yunnan

变量 Variables	动物数量 Number of animals	寄生蚤数 Number of fleas		Logistic 回归 Logistic regression		负二项分布回归 Negative binomial regression	
		0	1 – 22	COR (95% CI)	*P* 值 *P* value	CAR (95% CI)	*P* 值 *P* value
鼠形动物种类 Species of myomorph rodents							
齐氏姬鼠 *Apodemus chevrieri*	309	240	69	参考组 Reference		参考组 Reference	
中华姬鼠 *Apodemus draco*	159	141	18	0.45 (0.26, 0.79)	0.005	0.63 (0.24, 1.68)	0.358
大耳姬鼠 *Apodemus latronum*	104	86	18	0.74 (0.42, 1.31)	0.302	1.12 (0.45, 2.75)	0.811
大绒鼠 *Eothenomys miletus*	142	87	55	2.23 (1.45, 3.44)	0.000	1.45 (0.79, 2.67)	0.234
玉龙绒鼠 *Eothenmys proditor*	58	22	36	5.78 (3.19, 10.47)	0.000	1.85 (0.93, 3.66)	0.077
其他 Others	112	89	23	0.95 (0.56, 1.61)	0.854	3.25 (1.50, 7.03)	0.003
性别 Gender							
雄性 Male	492	359	133	参考组 Reference		参考组 Reference	
雌性 Female	392	306	86	0.76 (0.56, 1.04)	0.082	1.30 (0.79, 2.16)	0.306
年龄 Age							
未成年 Immaturity	163	137	26	参考组 Reference			
成年 Adult	721	528	193	1.93 (1.23, 3.02)	0.004	2.88 (1.26, 6.63)	0.013
体重 Body weight							
≤30 g	451	374	77	参考组 Reference		参考组 Reference	
>30 g	433	291	147	2.37 (1.73, 3.25)	0.000	1.27 (0.75, 2.13)	0.372
体长 Body length							
≤104 mm	518	425	93	参考组 Reference		参考组 Reference	
>104 mm	366	240	126	2.40 (1.76, 3.28)	0.000	1.25 (0.76, 2.07)	0.381
耳高 Length of ear							
≤16 mm	559	395	164	参考组 Reference		参考组 Reference	
>16 mm	325	270	55	0.49 (0.35, 0.69)	0.000	1.54 (0.88, 2.69)	0.133
后足长 Length of hind foot							
≤21 mm	572	438	134	参考组 Reference		参考组 Reference	
>21 mm	312	227	85	1.22 (0.89, 1.68)	0.209	1.20 (0.72, 1.99)	0.484
尾长 Tail length							
≤80 mm	416	284	132	参考组 Reference		参考组 Reference	
>80 mm	468	381	87	0.49 (0.36, 0.67)	0.000	1.30 (0.78, 2.15)	0.313
海拔 Altitude							
2 400 – 2 700 m	154	134	20	参考组 Reference		参考组 Reference	
2 700 – 3 000 m	210	172	38	1.48 (0.82, 2.66)	0.190	0.23 (0.09, 0.59)	0.002
>3 000 m	520	359	161	3.00 (1.81, 4.98)	0.000	0.38 (0.18, 0.83)	0.015
生境 Habitat							
林地 Woodland	685	527	158	参考组 Reference		参考组 Reference	
林耕交界 The junction of woodland and cultivated land	199	138	61	1.47 (1.04, 2.09)	0.030	2.11 (1.26, 3.54)	0.005

续表 1 Table 1 continued

变量 Variables	动物数量 Number of animals	寄生蚤数 Number of fleas		Logistic 回归 Logistic regression		负二项分布回归 Negative binomial regression	
		0	1 - 22	COR (95% CI)	*P* 值 *P* value	CAR (95% CI)	*P* 值 *P* value
季节 Season							
春季 Spring	188	134	48	参考组 Reference		参考组 Reference	
夏季 Summer	194	145	49	0.84 (0.53, 1.32)	0.446	1.02 (0.51, 2.02)	0.961
秋季 Autumn	309	262	47	0.45 (0.29, 0.69)	0.000	0.84 (0.42, 1.70)	0.636
冬季 Winter	193	124	69	1.38 (0.90, 2.13)	0.143	2.13 (1.15, 3.95)	0.017
气温 Air temperature							
≤15℃	485	346	139	参考组 Reference		参考组 Reference	
>15℃	399	319	80	0.62 (0.46, 0.85)	0.003	0.45 (0.27, 0.75)	0.002
相对湿度 Relative humidity							
≤70%	513	367	146	参考组 Reference		参考组 Reference	
>70%	371	298	73	0.56 (0.40, 0.65)	0.005	0.97 (0.57, 1.65)	0.923

COR：粗比值比 Crude odds ratio；CAR：粗丰盛度比 Crude abundance ratio. CI：置信区间 Confidence interval.

2.3　云南省玉龙鼠疫疫源地野外鼠形动物体表寄生蚤丰盛度多因素跨栏负二项分布结果

进入最初模型的 13 个候选变量，经过多因素分析后，最终确定有 5 个因素与鼠形动物染蚤可能性有密切关系，3 个因素与染蚤数量密切相关（表 2）。与齐氏姬鼠的染蚤概率相比，中华姬鼠的染蚤概率降低 50%，大绒鼠的染蚤概率增加 79%；体长超过 104 mm 的鼠形动物染蚤概率较体长≤104 mm 的鼠形动物染蚤概率增加 76%；2 700 - 3 000 m 和 3 000 m 以上海拔鼠形动物染蚤概率较 2 400 - 2 700 m海拔鼠形动物染蚤概率分别增加 1.27 和 3.72 倍；相对湿度高于 70% 时的鼠形动物染蚤概率较相对湿度≤70% 时的染蚤概率减少 41%；气温高于 15℃时鼠形动物染蚤数量较气温≤15℃时降低 67%；成年鼠形动物的染蚤数量较未成年鼠形动物的染蚤数量增加 2.25 倍；与春季相比，夏季的染蚤数量增加 2.00 倍，秋季的染蚤概率减少 48%，冬季的染蚤概率和染蚤数量分别增加 1.44 和 1.06 倍。

3　讨论

本研究调查结果表明，在云南省玉龙鼠疫疫源地，海拔、季节、湿度、鼠形动物种类、体长影响野外鼠形动物感染蚤类的可能性，而对于具备染蚤可能性的鼠形动物，季节、气温、鼠形动物年龄影响其染蚤数量的多少。

各宿主动物适应外界能力不同，本研究调查的 3 种优势鼠种中，齐氏姬鼠比中华姬鼠染蚤概率高，比大绒鼠染蚤概率低（表 2）。一般适应能力强、密度大、分布广的宿主自身寄生蚤类能力强机会大，而且可以增加蚤类在鼠间的传递，因此蚤种类和数量也多（程晓藕，2016）。蚤类与宿主是协同进化的关系，对宿主有选择性和高度依赖性，研究表明大绒鼠的体表环境本身具有承载多种寄生虫寄生的强大能力（杨鹏彪等，2015）。蚤类的多宿主寄生，聚集性寄生（龚正达等，2004），使蚤能在不同宿主间发生转移和扩散。这些都是鼠种对寄生蚤数量产生影响的原因。Yin 等（2011）对室内鼠体和地面游离蚤丰盛度预测因子的研究结果也证实了鼠形动物寄生蚤丰盛度与鼠形动物种类有关。另外，蚤类生态学及传播实验研究表明不同蚤种在各疫源地鼠疫流行过程中承担作用不同。这里要提到两个概念，主要媒介与优势蚤种，优势蚤种指的是数量上的优势，优势蚤种不一定就是主要媒介，两者无必然关系，能否成为主要媒介是蚤类内在的本能，它与自然感染率的多少、形成菌栓的时间长短、染疫后的集群传播率有关。Wheeler 和 Kartman 在 1954 和 1956 年提出了媒介效能（感染潜能、栓塞潜能、传播潜能的乘积）和媒介指数（媒介效能与栓塞存活潜能的乘积）等指标概念，用来界定传播媒介的地位（徐成等，2002）。云南省地方病防治所对滇西北野鼠鼠疫疫源地开展了蚤类传播实验（郭牧和董兴齐，2008），得到特新蚤指名亚种多寄生于姬鼠属，媒介效能 0.334，媒介指数 0.078，集群传播率 100%，各指标

表 2 云南玉龙鼠疫疫源地野外鼠形动物寄生蚤丰盛度的多因素跨栏负二项分布回归分析结果
Table 2 Analysis results of multi-hurdle negative binomial regression model for the abundance of parasitic fleas on wild myomorph rodents in Yulong, Yunnan

变量 Variables	Logistic 回归 Logistic regression			负二项分布回归 Negative binomial regression		
	AOR (95% CI)	Wald 检验 Wald test	LR-test	AAR (95% CI)	Wald 检验 Wald test	LR-test
鼠形动物种类 Species of myomorph rodents			0.002			
齐氏姬鼠 *Apodemus chevrieri*	参考组 Reference					
中华姬鼠 *Apodemus draco*	0.50 (0.25, 1.00)	0.051				
大耳姬鼠 *Apodemus latronum*	0.60 (0.32, 1.11)	0.104				
大绒鼠 *Eothenomys miletus*	1.79 (1.09, 2.96)	0.022				
玉龙绒鼠 *Eothenmys proditor*	1.73 (0.86, 3.47)	0.124				
其他 Others	1.28 (0.64, 2.55)	0.483				
年龄 Age						0.005
未成年 Immaturity				参考组 Reference		
成年 Adult				3.25 (1.43, 7.38)	0.005	
体长 Body length			0.005			
≤104 mm	参考组 Reference					
>104 mm	1.76 (1.18, 2.62)	0.005				
海拔 Altitude			0.000			
2 400 - 2 700 m	参考组 Reference					
2 700 - 3 000 m	2.27 (1.14, 4.53)	0.020				
3 000 m 以上	4.72 (2.36, 9.47)	0.000				
季节 Season			0.000			0.008
春季 Spring	参考组 Reference			参考组 Reference		
夏季 Summer	1.22 (0.58, 2.60)	0.599		3.00 (1.11, 8.14)	0.031	
秋季 Autumn	0.52 (0.30, 0.90)	0.018		1.06 (0.53, 2.12)	0.872	
冬季 Winter	2.44 (1.46, 4.07)	0.001		2.06 (1.12, 3.78)	0.020	
气温 Air temperature						0.010
≤15℃				参考组 Reference		
>15℃				0.33 (0.14, 0.77)	0.011	
相对湿度 Relative humidity			0.068			
≤70%	参考组 Reference					
>70%	0.59 (0.33, 1.05)	0.072				

AOR: Logistic 回归多因素分析得到的调整比值比 Adjusted odds ratio by Logistic regression; AAR: 负二项分布回归多因素分析得到的调整丰盛度比 Adjusted abundance ratio by negative binomial regression. CI: 置信区间 Confidence interval.

在野鼠疫源地均占第一位,有利于鼠疫菌的保存与延续;棕形额蚤指名亚种,媒介效能 0.067,媒介指数 0.012,集群传播率 33.3%,各指标在野鼠疫源地居第二位,由于其跳跃能力最强,属广布蚤种,易于携带病原体在家鼠野鼠间发生转移,起到保菌和扩大流行范围的作用,这对于增加其宿主范围起到加强作用,是野鼠鼠疫的次要媒介;方叶栉眼蚤主要寄生于大绒鼠,次要宿主为齐氏姬鼠,该蚤鼠疫菌感染率高达 87.5%,但媒介效能和指数为 0,是野鼠疫源地的非有效媒介(荆永光等, 2010)。明确疫源地内蚤类地位、鼠蚤间的关系,对于鼠疫疫情的预警报告意义重大。

与未成年鼠形动物相比,成年鼠形动物活动强度大,范围广,接触蚤类机会多,加之有充足血液及营养,能适当延长吸食后的蚤类寿命。调查中成年鼠形动物的染蚤数量达未成年鼠的 2.25 倍(表 2)。体长同样会影响鼠形动物寄生蚤丰盛度,这也证实了鼠形动物种类对寄生蚤丰盛度的影响,因为体长,特别是成年鼠的体长跟鼠种类有一定关系。鼠形动物体形越长,体表面积就越大,供蚤类寄生的环境越

广，种类和数量也越多，而且体形长的鼠形动物其洞穴面积、洞穴深度和复杂程度也大，受地面气候的影响就小，这种特殊的微生态环境有利于多种蚤类的生存。

蚤类的分布离不开海拔。2 700 – 3 000 m 和 3 000 m以上海拔鼠形动物染蚤概率较 2 400 – 2 700 m海拔鼠形动物染蚤概率分别增加 1.27 和 3.72 倍（表 2）。低海拔生境受破坏大，类型较单一，随海拔升高，地形逐渐平坦，降雨量充沛，环境湿度大，植被丰富，农作物多，为宿主提供了丰富的食物来源和稳定的外界环境，种群活动范围大。3 000 m 海拔带是动植物区系界线交错区，生境异质性复杂，物种丰富度达峰值。海拔的变化会引起温度、湿度、植被、坡向、光照、土壤类型等因素的变化，每一个因素的变化都会影响蚤类生长发育繁殖。以海拔、土壤、蚤类三者关系为例，Meliyo 等（2014）研究表明土壤中速效磷和盐基饱和度是小型哺乳动物和蚤类丰度及均匀度的强土壤因子。随着海拔升高，土壤中的速效磷和盐基饱和度也越高，环境中种群密度随之增加；另一方面，土壤属性会影响洞穴内水分保留和湿度，进而影响蚤类产卵、卵存活和跳蚤的繁殖发展。

季节性变化是自然疫源性疾病的特点。本研究调查结果显示，与春季相比，秋季染蚤率减少 48%，冬季染蚤率增加 1.44 倍，夏季、冬季的染蚤数量分别增加 2.00 和 1.06 倍（表 2）。这与鼠蚤季节性活动有关。春季鼠蚤活动增加，但是密度低且散在分布，呈现染蚤率增加染蚤数却相对较少的情况。夏秋季降雨量大，植物生长茂盛，有充足食物和栖息场所，出洞活动频繁，有更多机会感染蚤类。冬季气候寒冷湿度适宜，鼠蚤均为非冬眠类动物，鼠类多巢内活动，不利于蚤类离开宿主。

作为冷血性节肢动物，蚤类对外界环境及宿主温度变化极为敏感。温度会影响蚤的生理生态、生长发育及群落动态。气温超过 15℃ 时，鼠形动物染蚤数量降低。可能是温度高，蚤类离开鼠体表面速度快，导致一部分蚤类在被检获前已经脱离宿主环境。

与宿主多样性主要受纬度影响不同，蚤类多样性主要是受水湿条件影响。湿度能影响蚤体内水分平衡，进而影响蚤类虫态的发育，幼虫期对湿度敏感，湿度过低容易失水死亡。本研究调查结果表明，湿度超过 70% 时，鼠形动物染蚤概率降低。赵秋芳和尹家祥（2017）在探讨滇西地区自然村地面游离蚤丰盛度影响因素时发现，湿度大于 49% 的自然村捕获地面游离蚤的数量减少 59%。自然条件下，湿度受降水直接影响，降水量对鼠疫流行的影响存在营养级联假说，即随降水量增加植物生长茂盛，促进啮齿动物生长，种群密度丰度增加，鼠疫开始流行。但这并不是说降水量的增加对鼠疫发生是绝对的积极作用，复杂的环境因素的介入使得降雨、湿度、鼠疫之间不会是单一的线性相关。如在气候干燥的北方，降水量是啮齿动物种群增长及鼠疫发生的有利因素；但在气候湿润的南方，高降水可能对啮齿动物有着负面影响，有一种可能就是跳蚤易受真菌、细菌和病毒感染，导致蚤类种群增长被抑制或死亡率增加从而降低了鼠疫发生的风险（张爱萍等，2016）。

综上所述，玉龙鼠疫疫源地野外鼠形动物体表寄生蚤丰盛度的差异性是由鼠形动物特征、海拔、季节和气象因素等综合作用的结果。明确寄生蚤丰盛度与鼠形动物、环境因子之间的关系，有利于开展针对性较强的鼠疫预防措施。如根据不同疫源地优势鼠蚤利害关系、地理分布格局和流行高峰季节开展重点监测，包括对自毙鼠的搜索与检测，适时开展有针对性灭鼠灭蚤活动，降低鼠蚤密度，减少与人类接触机会，保护其正常生活。此外，因地制宜改变支持蚤类数量增加的生态环境，消除鼠疫宿主生存条件，切断蚤类在鼠疫疫源地作用途径，使鼠疫疫源地自然循环中断，做到科学防治。

参考文献（References）

Cheng XO, 2016. Predictors of the Abundance of Small Mammal Parasitic Fleas in Households of Western Yunnan Province. MSc Thesis, Dali University, Dali, Yunnan. [程晓藕, 2016. 滇西地区室内鼠形动物寄生蚤丰盛度影响因素分析. 云南大理：大理大学硕士学位论文]

Friggens MM, 2010. Fleas, Hosts and Habitat: What Can We Predict About the Spread of Vector-borne Zoonotic Diseases? Northern Arizona University, Flagstaff, Arizona. 159 pp.

Gao ZH, Liu ZX, Du CH, Hong M, Li YQ, Wu AG, Gong ZD, Song ZZ, 2014. An investigation of species diversity of ectoparasite fleas on rodents in residential areas in Yunnan province, southwestern China. *Acta Entomol. Sin.*, 57(2): 257 – 264. [高子厚, 刘正祥, 杜春红, 洪梅, 李玉琼, 吴爱国, 龚正达, 宋志忠, 2014. 云南居民区鼠类体外寄生蚤物种多样性调查. 昆虫学报, 57(2): 257 – 264]

Gong ZD, Wu HY, Zhang LY, 2004. Vertical distribution patterns and fauna of fleas in Diqing Prefecture, Yunnan. *Bull. Dis. Control Prevent. (China)*, 19(1): 25 – 30. [龚正达, 吴厚永, 张丽云, 2004. 云南迪庆州山地蚤类物种丰富度垂直分布格局与区系研究. 疾病预防控制通报, 19(1): 25 – 30]

Guo M, Dong XQ, 2008. The development of plague foci of northwestern Yunnan province. *Chin. J. Control Endem. Dis.*, 23(1): 27 – 31. [郭牧, 董兴齐, 2008. 滇西北齐氏姬鼠、大绒鼠鼠疫疫源地的发展概况. 中国地方病防治杂志, 23(1): 27 – 31]

Huang WJ, Chen YX, Wen YX, 1995. Rodents and Lagomorphs of China. Fudan University Press, Shanghai. 308. [黄文几, 陈延熹, 温业新, 1995. 中国啮齿类. 上海: 复旦大学出版社. 308]

Jing YG, Guo XG, Wu D, Wang ZK, Gong ZD, Zhang LY, 2010. The geographical distribution and host distribution of *Ctenophthalmus quadratus* in Yunnan Province. *Chin. Trop. Med.*, 10(4): 402 – 404. [荆永光, 郭宪国, 吴滇, 王政昆, 龚正达, 张丽云, 2010. 云南省方叶栉眼蚤的地域分布及其对宿主选择调查. 中国热带医学, 10(4): 402 – 404]

Krasnov BR, Shenbrot GI, Mouillot D, Khokhlova IS, Poulin R, 2006. Ecological characteristics of flea species relate to their suitability as plague vectors. *Oecologia*, 149(3): 474 – 481.

Meliyo JL, Kimaro DN, Msanya BM, Msanya BM, Mulungu LS, Hieronimo P, Kihupi NI, Gulinck H, Deckers J, 2014. Predicting small mammal and flea abundance using landform and soil properties in a plague endemic area in Lushoto District, Tanzania. *Tanzan J. Health Res.*, 16(3): 1 – 13.

Sun RY, 2001. Principles of Animal Ecology. Beijing Normal University Publishing House, Beijing. 373. [孙儒泳, 2001. 动物生态学原理. 北京: 北京师范大学出版社. 373]

Wang J, Liang S, Chen YD, Li HZ, Tang LH, 2014. Application of zero-inflated negative binomial model to study the pattern of *Ascaris lumbricoides* and hookworm re-infection. *Int. J. Med. Parasit. Dis.*, 41(6): 321 – 327. [王骏, 梁松, 陈颖丹, 李华忠, 汤林华, 2014. 零膨胀的负二项模型在蛔虫与钩虫再感染模式研究中的应用. 国际医学寄生虫病杂志, 41(6): 321 – 327]

Wang XF, Yin JX, Cheng XO, Yang ZJ, Yang GC, Liu ZX, Zhong YH, Su C, 2015. Influencing factors on abundance of small mammal in natural village of rodent-borne disease foci in western Yunnan Province. *Modern Prevent. Med.*, 42(17): 3073 – 3078. [王秀芳, 尹家祥, 程晓藕, 杨子京, 杨光璨, 刘正祥, 钟佑宏, 苏超, 2015. 滇西鼠传疾病疫源地自然村鼠形动物丰盛度影响因素分析. 现代预防医学, 42(17): 3073 – 3078]

Xie BQ, Zeng JF, 2000. The Siphonaptera of Yunnan. Yunnan Science and Technology Press, Kunming. 456. [解宝琦, 曾静凡, 2000. 云南蚤类志. 昆明: 云南科技出版社. 456]

Xu C, Fang J, Sun QT, Sun XG, Zhang TJ, 2002. The biological relationship between fleas and *Y. pestis*. *Chin. J. Control Endem. Dis.*, 17(6): 347 – 348. [徐成, 房静, 孙启庭, 孙鑫广, 张铁军, 2002. 蚤与鼠疫菌之间的生物学关系. 中国地方病防治杂志, 17(6): 347 – 348]

Yang CM, 2013. Community Structure and Dynamics of Fleas in *Microtus fuscus* Nature Plague Foci in Shiqu of China's Sichuan. MSc Thesis, Southwest Minzu University, Chengdu. [杨创明, 2013. 四川青海田鼠鼠疫疫源地蚤类群落结构及其动态. 成都: 西南民族大学硕士学位论文]

Yang PB, Song WY, She HY, Wu XS, Jiang P, Zou YJ, Hou P, Guo XG, 2015. Diversity of ectoparasites on *Eothenomys miletus* in mountainous areas of southwest Sichuan. *Sichuan J. Zool.*, 34(2): 239 – 244. [杨鹏彪, 宋文宇, 佘慧媛, 吴学森, 姜萍, 邹云集, 侯鹏, 郭宪国, 2015. 川西南山区大绒鼠体表寄生虫多样性调查. 四川动物, 34(2): 239 – 244]

Yin JX, Dong XQ, 2010. Application of hurdle model in identifying predictors for flea abundance on rats. *Bull. Dis. Control Prevent.* (*China*), 25(5): 1 – 4. [尹家祥, 董兴齐, 2010. 跨栏模型在确定鼠体蚤丰盛度预测因子研究中的应用. 疾病预防控制通报, 25(5): 1 – 4]

Yin JX, Geater A, Chongsuvivatwong V, Dong XQ, Du CH, Zhong YH, 2011. Predictors for abundance of host flea and floor flea in households of villages with endemic commensal rodent plague, Yunnan Province, China. *PLoS Negl. Trop. Dis.*, 5(3): e997.

Zhang AP, Wei RJ, Xiong HM, Wang ZY, 2016. Advance to the research of the climate factor effect on the distribution of plague. *Chin. J. Prev. Med.*, 50(5): 459 – 462. [张爱萍, 魏荣杰, 熊浩明, 王祖郧, 2016. 气候因素对鼠疫分布影响的研究进展. 中华预防医学杂志, 50(5): 459 – 462]

Zhao QF, Yin JX, 2017. Influencing factors of abundance of floor fleas in natural villages of western Yunnan. *Chin. J. Control Endem. Dis.*, 32(1): 22, 81. [赵秋芳, 尹家祥, 2017. 滇西地区自然村地面游离蚤丰盛度影响因素分析. 中国地方病防治杂志, 32(1): 22, 81]

Zhao ZM, Zheng JZ, 2011. Epidemiological investigation results of plague in Shanxi province. *Chin. J. Endemiol.*, 30(4): 441 – 443. [赵智敏, 郑建中, 2011. 山西省鼠疫流行病学调查结果. 中华地方病学杂志, 30(4): 441 – 443]

(责任编辑: 赵利辉)